



<https://helda.helsinki.fi>

---

## Hyönteisten kemiaa lukion kemian opetuksessa

Pernaa, Johannes

Helsingin yliopisto  
2008

---

Pernaa , J 2008 , ' Hyönteisten kemiaa lukion kemian opetuksessa ' , Helsinki .

---

<http://hdl.handle.net/10138/306418>

---

unspecified  
publishedVersion

---

*Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.*

*This is an electronic reprint of the original article.*

*This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.*

*Please cite the original version.*

# HYÖNTEISTEN KEMIAA LUKION KEMIAN OPETUKSESSA

Johannes Pernaa

Pro gradu -tutkielma

22.1.2008

Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto

Kemian laitos

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

Ohjaajat: Maija Aksela ja Ilkka Kilpeläinen

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos Institution – Department
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos
Tekijä Författare – Author		
Johannes Pernaa		
Työn nimi Arbetets titel – Title		
Hyönteisten kemiaa lukion kemian opetuksessa		
Oppiaine Läroämne – Subject		
Orgaaninen kemia ja kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto		
Työn laji Arbetets art – Level	Aika Datum – Month and year	Sivumäärä Sidoantal – Number of pages
Pro gradu –tutkielma	22.1.2008	94 + 19 + CD-ROM
Tiivistelmä Referat – Abstract		
<p>Kemiaa on kaikkialla elinympäristössämme. Käsittelemällä hyönteisten kemiaa opetuksessa voidaan mielekkäästi tuoda esille kemian yhteys arkielämään ja luontoon. Sen avulla voidaan laajentaa oppilaiden kuvaa kemian merkityksestä luonnossa ja innostaa oppilaita kemian opiskeluun. Oppilaiden kemian kiinnostuksen tukeminen on yksi kemian opetuksen tärkeitä tavoitteita valtakunnallisten kemian opetussuunnitelmien perusteiden mukaisesti. Aikaisemman tutkimustiedon mukaan suomalaiset oppilaat eivät ole hyvin kiinnostuneita kemiasta oppiaineena. Tarvitaan uusia lähestymistapoja mielekkääseen kemian opetukseen ja sen tutkimusta.</p> <p>Tässä tutkimuksessa kehitettiin kehittämistutkimuksen kautta uusi tutkimuspohjainen verkkomateriaali lukion kemian mielekkään opetuksen tueksi. Tutkimus sisälsi neljä vaihetta: 1) tarveanalyysi, 2) oppimateriaalin tekeminen, 3) oppimateriaalin arviointi ja 4) oppimateriaalin kehittäminen. Tutkimusta ohjasi kaksi päätutkimuskysymystä: 1) Miten hyönteisten kemiaa opetetaan lukiossa? ja 2) Minkälainen on mielekäs verkko-opetusmateriaali aiheesta? Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen etsittiin vastausta suorittamalla käytössä olevien lukion oppikirjojen sisällönanalyysi (nk. tarveanalyysi, 1. tutkimusvaihe).</p> <p>Tutkimuksen toisessa vaiheessa rakennettiin uudenlainen verkkomateriaali lukion kemian opettajien käyttöön tarveanalyysin tulosten ja mielekkään kemian oppimisen teorian pohjalta. Se sisältää hyönteisten kemian teoriaa, useita tehtäviä (esimerkiksi kokeellisia ja molekyyylimallinnustehtäviä) ja kuvia. Siihen kehitettiin navigointijärjestelmä käsitekarttatekniikkaa apuna käyttäen mielekkään oppimisen tukemiseksi, aiheen kokonaisuuden hahmottamiseksi ja tiedon etsimisen helpottamiseksi. Käsitekartta on graafinen tiedonesitys työkalu, joka on kehitetty mielekkään oppimisen teorian sovelluksena. Käsitekarttojen hyödyntämisestä verkkomateriaalien elementtinä on olemassa vähän aiempaa tutkimustietoa.</p> <p>Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa kehitetty verkkomateriaali arvioitiin kyselytutkimusta apuna käyttäen. Arviointiin osallistui yhteensä 17 kemian opettajaa. Tutkimus suoritettiin syksyllä 2007 MAOL ry:n syyspäivien molekyyylimallinnuspajan sekä LUMA -keskuksen molekyyylimallinnuspajan yhteydessä. Tapaustudkimus osoitti kehitetyn verkkomateriaalin saavuttaneen sille asetetut tavoitteet. Vastaajat kokivat materiaalin olevan kemian tasoltaan kiitettävä ja sisällöltään riittävän laaja. Käsitekarttoja pidettiin verkkomateriaalin vahvuutena. Käsitekarttojen koettiin antavan laajalle sisällölle selkeyttä ja tehostavan oppimista.</p> <p>Kehitetty verkko-opetusmateriaali on yksi esimerkki mielekkään kemian opetuksen tutkimuspohjaisesta tukemisesta. Tutkimus toi esille myös lisätutkimusaiheita. Materiaalin käyttöä kouluopetuksessa ja sen vaikutusta oppilaiden mielekkääseen kemian oppimiseen olisi tärkeää tutkia jatkossa.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
Kemian opetus, hyönteisten kemia, mielekäs oppiminen, käsitekartat, verkkomateriaalit		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Helsingin yliopisto, kemian laitos		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		
Ohjaajat: Maija Aksela ja Ilkka Kilpeläinen		

## SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. HYÖNTEISTEN KEMIAA.....	4
2.1 Semiokemikaalit .....	4
2.1.1 Semiokemikaalien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet.....	5
2.1.2 Semiokemikaalien jaottelu vaikutuksen perusteella .....	7
2.1.2.1 Feromonit .....	7
2.1.2.2 Allelokemikaalit .....	8
2.1.3 Semiokemikaalien jaottelu rakenteen perusteella.....	9
2.1.3.1 Esterit .....	11
2.1.3.2 Hiilivedyt.....	11
2.1.4 Semiokemikaalien käyttökohteet.....	12
2.2 Pigmentit .....	13
2.2.1 Karotenoidit .....	14
2.2.1.1 Karotenoidien kemialliset, fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet.....	15
2.2.1.2 Karotenoidien biosynteesi .....	16
2.3 Mehiläiset.....	18
2.3.1 Mehiläisten semiokemikaalit.....	19
2.3.2 Isopentyyliasetaatti .....	21
2.3.2.1 Isopentyyliasetaatin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet.....	21
2.3.2.2 Isopentyyliasetaatin kemiallinen synteesi .....	22
2.3.2.3 Isopentyyliasetaatin esiintyminen luonnossa ja käyttökohteet.....	22
2.3.3 Mehiläisten myrkky .....	21
2.3.3.1 Mehiläisten myrkyn ominaisuudet ja koostumus .....	23
2.3.3.2 Mehiläisten myrkyn farmakologiset vaikutukset ja käyttö .....	24
2.3.4 Hunaja .....	26
2.3.4.1 Hunajan ominaisuudet ja koostumus .....	27
2.3.4.2 Hunajan farmakologiset vaikutukset .....	29
2.3.5 Mehiläisvaha .....	30
2.3.5.1 Mehiläisvahan ominaisuudet ja koostumus.....	31
2.3.5.2 Mehiläisvahan käyttökohteet.....	32
2.3.6 Propolis .....	33
2.3.6.1 Propoliksien ominaisuudet ja koostumus.....	33
2.3.6.2 Propoliksien farmakologiset vaikutukset .....	34
3. HYÖNTEISTEN KEMIA OSANA LUKION KEMIAN OPETUSTA.....	38
3.1 Tavoitteet ja sisällöt .....	38
3.2 Kemian opetuksen tärkeys .....	41

4. KEMIAN OPETUKSESTA JA OPPIMISESTA.....	44
4.1 Kemian tiedon luonne .....	44
4.2 Mielekäs oppiminen.....	46
4.3 Käsitekartat.....	48
4.3.1 Novakilainen käsitekarttatekniikka .....	48
4.3.2 Suomalainen parannettu käsitekarttatekniikka.....	50
4.3.3 Käsitekartat kemian opetuksessa .....	52
4.4 Verkko-opetus .....	53
4.4.1 Kemian opetus verkossa.....	54
4.4.2 Käsitekartat verkkomateriaalien elementtinä .....	55
5. KEHITTÄMISTUTKIMUS .....	56
5.1 Tutkimuskysymykset .....	56
5.2.1 Tarveanalyysi .....	58
5.2.2 Oppimateriaalin tekeminen .....	58
5.2.3 Oppimateriaalin arviointi .....	59
5.2.3.1 Kyselytutkimus .....	59
5.2.3.2 Lomakkeen laatiminen .....	59
5.2.3.3 Kyselyn toteuttaminen .....	60
5.2.3.4 Kohderyhmä .....	60
5.2.3.5 Kyselytutkimuksen luotettavuus ja pätevyys .....	63
5.2.4 Oppimateriaalin kehittäminen .....	64
6. TULOKSET .....	65
6.1 Hyönteisten kemian esiintyminen kemian oppikirjoissa .....	65
6.1.1 Yhteenveto tarveanalyysistä.....	67
6.2 Verkkomateriaali .....	68
6.2.1 Verkkomateriaalin toteutus .....	69
6.2.2 Kokeellinen osio .....	72
6.2.2.1 Isopentyyliasetaatti, $C_7H_{14}O_2$ .....	73
6.2.2.2 Karotenoidien mallinnus ja eristäminen .....	74
6.3 Kyselytutkimus .....	77
6.3.1 Materiaalin arvioinnin tulokset.....	77
7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	81

LÄHTEET

LIITTEET

## 1. JOHDANTO

Kemiaa on kaikkialla elinympäristössämme. Tässä tutkielmassa elinympäristöön liittyvää kemiaa esitellään hyönteisiin liittyvän kemian muodossa. Hyönteisten kemian avulla pystytään tuomaan esiin kemian yhteys arkielämään ja luontoon, laajentaa oppilaiden kemian ajattelua sekä innostaa oppilaita kemian opintojen pariin. Oppilaiden kiinnostuksen herättäminen kemiaa kohtaan mainitaan opetussuunnitelmien perusteissa yhdeksi keskeisistä kemian opetuksen tavoitteista (Opetushallitus, 2003, 135).

Aikaisempien tutkimusten mukaan oppilaat kokevat kemian opiskelun usein abstraktisuutensa vuoksi vaikeaksi (Gabel, 1999), eikä kemiaa myöskään koeta oppiaineena kiinnostavaksi (Aksela & Juvonen, 1999, 46). Kemian opetukseen tarvitaan lisää uusia mielekkäitä lähetysmistapoja. Yksi tapa tukea mielekästä kemian opetusta, on käyttää opetuksessa oppilasta motivoivia mielekkäitä oppimateriaaleja ja opetusmenetelmiä. Kokeellisuus on yksi mielekästä oppimista tukeva lähestymistapa. Kokeellisuus on kuitenkin tärkeää kytkeä jonkinlaiseen mielekkääseen kontekstiin (Millar, 2004). Hyönteisten kemian kytkemistä kemian opetukseen voidaan pitää kontekstuaalisena lähestymistapana. Tutkimusten mukaan kontekstuaalisen lähestymistavan on todettu kasvattavan oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan (Gilbert, 2006).

Tutkimusten mukaan mielekästä kemian oppimista voidaan tukea myös käsitekarttojen avulla (mm. Francisco et al., 2002; Markow & Lonning, 1998; Nicoll et al., 2001; Novak, 1998, 86-87). Käsitekartat ovat graafisia opetuksen, oppimisen, arvioinnin ja tiedonesityksen työkaluja, jotka on kehitetty Ausubelin mielekkään oppimisen teorian sovelluksena (Novak & Gowin, 1984, 19-24). Kemian oppimisessa käsitekartat helpottavat oppilasta hahmottamaan kokonaisuuksia ja käsitteiden välisiä suhteita. Laboratoriotyöskentelyssä käsitekartat toimivat myös apuna käsitteistön hahmottamisessa, joka usein jää kokeellisen työn varjoon.

Tieto- ja viestintäteknikka antaa kemian opetukseen uusia mahdollisuuksia (Linn, 2003). Verkon käyttö mahdollistaa kemiassa esimerkiksi mittavat tiedonhaku ja ongelmanratkaisu resurssit (Aksela, 2005, 60-62) sekä monipuoliset visualisointi keinot (molekyyylimallinnus), jotka tukevat kemian ymmärtämistä (Russel et al., 1997). Suomessa tieto- ja viestintäteknikan käyttöä tulee edistää panostamalla opettajien koulutukseen. Opettajien tieto- ja viestintäteknisten taitojen koulutus helpottaisi tieto- ja viestintäteknikan siirtymistä osaksi opetusta (Valtioneuvoston kanslia, 2007). Suomalaiset kemian opettajat käyttävät tieto- ja viestintäteknikkaa vähän opetuksessa (Meisalo, Lavonen, Juuti & Aksela, 2007). Tutkimusten mukaan etenkin suomenkieliselle molekyyylimallinnusta käsittelevälle tehtävämateriaalille on tarvetta (Aksela & Lundell, 2007). Tarvitaan lisää uutta materiaalia ja lähestymistapoja tieto- ja viestintäteknikan käyttöön kemian kouluopetuksessa.

Tässä tutkielmassa suoritetaan nelivaiheinen kehittämistutkimus (Edelson, 2002), jonka tavoitteena oli kehittää Ausubelin (1968) mielekkään oppimisen teorian pohjalta lukion opettajille suunnattu hyönteisten kemiaa käsittelevä verkkomateriaali. Materiaalin tavoitteena on toimia opettajille sisällöltään monipuolisena ja käytettävyydeltään mielekkäänä hyönteisten kemian materiaalipankkina. Verkkomateriaalista pyritään tekemään Jonassenin (1999) kriteerien mukaisesti mielekäs, kuitenkin huomioiden materiaalin tavoitteet ja kohdeyleisö. Verkkomateriaalin mielekkyyttä tuetaan rakentamalla materiaalin navigointijärjestelmä käsitekarttojen muotoon. Tutkimusten mukaan käsitekartat edistävät oppimista verkkoympäristössä (Carnot et al., 2001).

Luvut 2-4 muodostavat tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen. Luvussa 2 käsitellään tarveanalyysin pohjalta esiin nousseita hyönteisten kemian asioita. Luvussa 3 tarkastellaan, miten hyönteisten kemia yhdistyy lukion opetussuunnitelmien perusteiden mainitsemiin kemian opetuksen tavoitteisiin sekä, miten kemian opetuksen tärkeyttä perustellaan luonnontieteiden kolmen dimension ja opetuksen neljän argumentin avulla. Luku 4 käsittelee kemian opetusta ja oppimista. Luvussa 4 tarkastellaan kemian tiedon luonnetta, mielekästä oppimista ja miten sitä voidaan tukea kemian opetuksessa. Luvussa 4 käsitellään käsitekarttoja, verkko-opetusta ja miten niitä tutkimusten mukaan käytetään kemian opetuksessa.

Luvussa 5 esitellään kehittämistutkimuksen tutkimuskysymykset, selostetaan tutkimuksen eteneminen, tarkastellaan tutkimuksen kohderyhmää sekä tutkimuksen luotettavuutta ja pätevyyttä. Luvussa 6 käsitellään tutkimustulokset. Luvussa 7 esitellään tulosten pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä ja pohdintoja teoreettinen viitekehys huomioiden sekä kerrotaan mahdollisista jatkotutkimuksista.



## **2. HYÖNTEISTEN KEMIAA**

Hyönteisiin liittyy paljon mielenkiintoista kemiaa. Työssä keskitytään yleisesti hyönteisten semiokemikaaleihin (ks. luku 2.1) ja pigmentteihin (ks. luku 2.2). Lähempään tarkasteluun on valittu mehiläisten kemia (ks. luku 2.3). Hunajamehiläinen (*Apis mellifera*) (ks. kuva 2.10) on valittu esimerkiksi kemiallisen monimuotoisuutensa vuoksi.

### **2.1 Semiokemikaalit**

Semiokemikaalit ovat pienikokoisia orgaanisia yhdisteitä, jotka välittävät kemiallisia viestejä. Niiden avulla hyönteiset pystyvät viestimään lajinsisäisesti tai lajirajojen ulkopuolelle. Hyönteiset aistivat semiokemikaalit hajureseptorien avulla suoraan ilmasta. Hajureseptorit sijaitsevat useimmilla hyönteisillä tuntosarvien värekarvoissa (mm. Leal, 2005). Termiä "semiokemikaali" on käytetty vuodesta 1971 asti. Merkityksensä se saa kreikan kielen sanasta "semeon", merkki tai signaali (Nordlund et al., 1981, 15).

Semiokemikaaleja on tutkittu jo 1880-luvulta lähtien. 1880-luvulla niiden kemiaa ei kuitenkaan vielä ymmärretty, mutta jo silloin osattiin houkutella naarashyönteisten avulla koiraita pyyntiansoihin (Schneider, 1992). Nykyisessä muodossa tunnettua semiokemikaalitutkimusta on tehty 1950-luvulta lähtien, jolloin eristettiin ja tunnistettiin ensimmäiset feromonit. 1950-luvulta lähtien tähän päivään saakka on tunnistettu yli 3000 hyönteisten kemialliseen viestintään liittyvää semiokemikaalia (mm. El-Sayed, 2007). Nykyään semiokemikaalitutkimuksessa jatketaan molekyylien kartoittamista, syntetisoimista ja biosynteesien tutkimista. Ajan kuluessa tärkeäksi tutkimus osa-alueeksi on myös noussut hyönteisten neurofysiologisen aistimisen ymmärtäminen sekä ymmärrys hyönteisten hormonaalisen säätelyn vaikutuksista feromonien biosynteesiin ja vapautumiseen. Semiokemikaalitutkimuksen käytännön tavoitteena on kehittää tuhohyönteisten torjuntaan ja valvomiseen soveltuvia metodeja ja sovelluksia (Nation, 1998). Stokesin nelikentässä semiokemikaalitutkimus sijoittuu Pasteurin neljännekseen. Tutkimus pohjautuu puhtaan kemian perustutkimukseen, mutta lopullisena tavoitteena on kuitenkin kehittää ratkaisuja käytännön tutkimusongelmiin (Kovac, 2002, 18-22).

Suomessa semiokemikaaleihin liittyvä tutkimus keskittyy kasvien ja metsien suojeluun. Tutkimuksissa kehitetään sovelluksia tuhohyönteisten torjuntaan ja valvontaan. Metsien ja kasvien suojeluun liittyvää tutkimusta tehdään muun muassa Joensuun ja Helsingin yliopistoissa. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa tehdään myös semiokemikaalitutkimusta. Siellä painopiste on kasvinsuojelussa.

Kemiallisesti semiokemikaaleja on syytä tarkastella sekä vaikutuksen (ks. luku 2.1.2) että rakenteen (ks. luku 2.1.3) pohjalta (ks. kuva 2.1). Vaikutuksen perusteella semiokemikaalit voidaan lajitella feromoneihin ja allelokemikaaleihin kemikaalien käyttötarkoituksen ja hyötyjän perusteella. Rakenteen perusteella semiokemikaalit voidaan jakaa 24 ryhmään funktionaalisten ryhmien mukaisesti. Semiokemikaalien kemian yhteydessä on olennaista myös tutustua käytännön sovelluksiin (ks. luku 2.1.4).

### **2.1.1 Semiokemikaalien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet**

Semiokemikaalien tietokanta *Pherobase* käsittää tähän mennessä noin 3000 semiokemikaalia. Suurin osa molekyyleistä on pienikokoisia ja yksinkertaisia, mutta osan rakenteet voivat olla hyvinkin monimutkaisia. Semiokemikaalien molekyylipainot vaihtelevat välillä 17-880 g/mol, mutta yleensä ne ovat helposti haihtuvia. Painavimmilla molekyyleillä on pisimmät hiiliketjut, mutta yli 550 g/mol massan omaavia semiokemikaaleja on tietokannassa alle 10 kappaletta. Semiokemikaalien hiiliketjujen pituus vaihtelee nollasta hiilestä 45 hiilen mittaisiin ketjuihin. Semiokemikaalien rakenteissa kaksoissidosten määrä vaihtelee nollasta kolmeentoista. Kaksoissidosten myötä cis-trans-isomeria on semiokemikaaleille tyypillinen ominaisuus, mutta yhdisteillä esiintyy myös paikkaisomeriaa ja optista isomeriaa. (mm. EL-Sayed, 2007)

































































































































Taulukko 5.3. Vastaajien mielipiteitä ja kokemus käsitekarttojen käytöstä, % (N=17).

<b>Väite</b>	<b>Vastaus</b>		
	<b>Usein</b>	<b>Harvoin</b>	<b>En koskaan</b>
9. Käytän käsitekarttoja osana opetustani	18	58	24
10. Käsitekartat edistävät oppimista	<b>Kyllä</b>	<b>Ei</b>	<b>En osaa sanoa</b>
	65	0	35
11. Käytän käsitekarttoja opiskeluni tukena	<b>Kyllä</b>	<b>En</b>	<b>En osaa sanoa</b>
	41	41	18

Vastaajien perusteluja väitteisiin 9, 10 ja 11 liittyen:

- ” En koskaan, ovat löytäneet minut vasta nyt. ”
- ”Harvoin, työläitä itse rakentaa.”
- ”Usein, sopii tapaani hahmottaa kokonaisuuksia.”
- ”Kyllä, oikeassa kohdassa käytettynä antavat hyvän kokonaiskuvan.”
- ” Kyllä, havainnollistavat opetusta.”
- ”En, en ole omaksunut niitä omaan käyttööni hyvin.”

### 5.2.3.5 Kyselytutkimuksen luotettavuus ja pätevyys

Tutkimuksen teossa pyritään aina arvioimaan tutkimuksen luotettavuutta (reliaabeliutta) ja pätevyyttä (validiutta). Tutkimuksen luotettavuutta nostaa toistettavuus, saman tuloksen saaminen erilaisilla mittareilla ja tutkimuksen toteuttamisen tarkka selostus tutkimusraportissa (Hirsjärvi et al., 2000, 213-214). Tässä kyselytutkimuksessa luotettavuuteen vaikutti alentavasti ensimmäisenä tutkimuspäivänä vastaajien lyhyt vastausaika. Luotettavuutta taas nosti kyselyn toistaminen sekä molempien tutkimuspäivien samankaltaiset vastaukset.

Tutkimuksen pätevyyden arvioimisen tarkoitus on selvittää, mittasiko tutkimus juuri sitä, mitä oli tarkoituskin mitata (Hirsjärvi et al., 2000, 213). Tämän tutkimuksen tarkoitus oli tuottaa lukion opettajille materiaalia, jota he voisivat käyttää opetuksen tukena. Kyselyn vapaan palautteen mukaan osa ensimmäisen tutkimuspäivän vastaajista arvioi verkkomateriaalia sen mukaan, miten se sopisi lukiolaisille. Ilmeisesti ensimmäisen päivän lyhyt vastausaika sai osan vastaajista kiirehtimään etusivun yli, jossa selvitettiin verkkomateriaalin tavoitteet, soveltuvuus ja käyttötarkoitus.

Tutkimuksen luotettavuutta ja pätevyyttä kuitenkin nostaa kyselyn vapaa palaute tutkijalle sekä opettajilta tullut kyselyn ulkopuolinen sähköpostipalaute. Kokonaisuutena tutkimusta voidaan pitää luotettavuudeltaan ja pätevyydeltään hyvänä.

Kommentteja palautteeseen liittyen:

- *”Hieno opetuspaketti. Valtakunnallisiin kemian kursseihinhan se ei sellaisenaan sovi, mutta johonkin ke-bi-integraatiokurssiin. Ja paloja voi varmaankin käyttää kemian opetuksessa.*
- *”Kokonaisuutena en työtäsi voi käyttää, mutta osia kylläkin, esim. opettaessani erilaisia funktionaalisia ryhmiä heti ensimmäisellä kurssilla. Kokeeseen voisin laatia vaikkapa tehtävän yhdisteryhmistä.”*

#### **5.2.4 Oppimateriaalin kehittäminen**

Opettajilta saadun palautteen perusteella oppimateriaalin tasoa ja toimivuutta kehitettiin. Lopulliset versiot materiaaleista löytyvät CD-ROM levykkeeltä tutkielman takakannesta sekä verkko-osoitteesta

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/hyonteistenkemias/index.htm>.

## 6. TULOKSET

Tässä luvussa esitellään tutkimustulokset tutkimuskysymysten mukaisesti. Luvussa 6.1 esitellään tarveanalyysin tulokset ja vastataan tutkimuskysymykseen 1, luvussa 6.2 käydään läpi kehitetty verkkomateriaali ja luvussa 6.3 selostetaan verkkomateriaalin arvioinnin tulokset, jotka vastaavat tutkimuskysymykseen 2.

### 6.1 Hyönteisten kemian esiintyminen kemian oppikirjoissa

Tarveanalyysissä analysoitiin yhteensä 26 oppikirjaa (23 lukion ja 3 korkeakoulujen oppikirjaa). Näistä 14 kirjassa esiintyi hyönteisiin liittyvää kemiaa. Tarveanalyysin keskeisimmät tulokset esitellään taulukoissa 6.1-6.4. Tarveanalyysin aineisto on kokonaisuudessaan luettavissa liitteestä 2 ja tutkitut oppikirjat liitteestä 1.

Viiden kirjasarjan välillä oli hyönteisten kemian esiintymisen osalta vaihtelua. Kaikkien kirjasarjojen ensimmäisistä kirjoista (kurssi Ihmisen ja elinympäristön kemia) löytyi mainintoja hyönteisten kemiasta. Kirjasarjojen B, C ja E muista kirjoista ei löytynyt mitään hyönteisten kemiaan liittyvää. Kirjasarjasta A löytyi hyönteisiin liittyvää kemiaa kaikkien muiden kirjojen sisällöistä poisluettuna A5:sta. Kirjasarjasta D hyönteisiin kytkettyä kemiaa löytyi kaikista viidestä oppikirjasta. Hyönteisten kemiaan liittyviä kuvia löytyi melkein kaikista löytyneistä asioista. Kuvat käsittelivät hyönteisten kemiaa pelkästään makro- ja symbolitasolla (ks. liite 2).

Yleisesti ottaen hyönteisiin liittyvää kemiaa ei löytynyt tutkituista oppikirjoista paljon. Eniten hyönteisiin liittyvää kemiaa esiintyi orgaanisten aineiden luokittelun (ks. taulukko 6.1), luonnonaineiden (ks. taulukko 6.2) ja kemiallisten sidosten yhteydessä (ks. taulukko 6.3).

Orgaanisista yhdisteryhmistä löytyi lukumäärältään eniten mainintoja karboksyylihapojen yhteydessä muurahaishaposta (kolme kappaletta, kirjat C1, D1 ja E1). Yleisesti koko aihepiiriä tarkastellessa eniten mainintoja löytyi semiokemikaaleista, erityisesti feromoneista (kirjat C1, E1 ja G3). Huomioitavaa on, että kaikki löydetty maininnat ovat lukion kirjojen ensimmäisestä kurssista.

Taulukko 6.1. Orgaanisten aineiden luokitteluun liittyvä hyönteisten kemia.

Lähde	Hyönteisiin liittyvä kemia	Orgaaninen yhdisteryhmä	Kuva
B1	hyönteisten pigmentit, flavonoidit	alkoholit ja fenolit	on
B1	semiokemikaalit, ampiaisen myrkky	amiinit	on
C1	semiokemikaalit, feromonit	esterit	ei
C1	semiokemikaalit, mehiläisten hälytysferomoni	esterit	on
C1	muurahaishappo	karboksyylihapot	on
D1	muurahaishappo	karboksyylihapot	on
E1	muurahaishappo	karboksyylihapot	on
E1	semiokemikaalit, tuoksut	aldehydit ja ketonit	on
G3	semiokemikaalit, feromonit	alkaanien esiintyminen	ei

Luonnonaineiden yhteydessä esiintyvät asiat keskittyivät lukion kurssien 1 (Ihmissen ja elinympäristön kemia) ja 4 (Metallit ja materiaalit) oppikirjoihin. Luonnonaineista mainittiin proteiinit, polymeerit, polysakkaridit ja hiilihydraatit (taulukko 6.2).

Taulukko 6.2. Luonnonaineisiin liittyvä hyönteisten kemia.

Lähde	Hyönteisiin liittyvä kemia	Luonnonaine	Kuva
A1	mehiläisvaha	vahat	on
A4	kitiini	luonnon komposiitit	on
D1	kitiini	polysakkaridit	on
D4	silkkiperhosen silkkikotelo	polymeerit	on
E1	hunaja	hiilihydraatit	on
E1	eläinten orgaaniset yhdisteet	luonnon yhdisteet: hiilihydraatit, polymeerit ja rasvat	on
G3	mehiläisvaha	vahat	on

Sidosten yhteydessä hyönteisiin liittyvä kemia kytkettiin molekyylien välisiin sidoksiin, sidoksen avaruusrakenteeseen ja sidosenergiaan (taulukko 6.3).

Taulukko 6.3. Sidoksiin liittyvä hyönteisten kemia.

Lähde	Hyönteisiin liittyvä kemia	Sidokset	Kuva
A1	hyttynen aistii lämpöä	kovalenttinen sidos, kaasu	on
D2	hämähäkin seitti	sidosten avaruusrakenteet, proteiinit	on
D3	tulikärpäsien hohtaminen	sidosenergia	on
E1	hämähäkin seitti	molekyylin väliset sidokset	on

Muut asiat joihin oppikirjoissa on kytketty hyönteisten kemiaa ovat: isomeria, hapot ja emäkset, pH, kemiallinen reaktio sekä pigmentit (taulukko 6.4).

Taulukko 6.4. Muihin asioihin liittyvä hyönteisten kemia.

Lähde	Hyönteisiin liittyvä kemia	Asiayhteys	Kuva
A2	semiokemikaalit, feromonit	isomeria, tuoksujen kemia	on
A3	hyttyskarkote	kemiallinen reaktio	on
C1	mehiläisen myrkky	emäkset	on
D5	ampiaisen ja mehiläisen myrkky	happo-emästasapaino, pH	on
G1	semiokemikaalit, kaikki	katso tänään	on
G1	semiokemikaalit, mehiläisten feromonit	tarkista	on
G3	hyönteisten pigmentit	värilliset orgaaniset materiaalit	on

### 6.1.1 Yhteenveto tarveanalyysistä

Tarveanalyysin taulukkojen 6.1-6.4 perusteella eniten oppikirjoissa esiintyvät hyönteisten kemian elementit ovat semiokemikaalit (10 mainintaa) ja mehiläisiin liittyvä kemia (yhdeksän mainintaa). Tarveanalyysin kolme eniten esiintyvää kemian aihealuetta olivat orgaanisten yhdisteiden luokittelu (taulukko 6.1), luonnonaineet 6.2 ja sidoksiin liittyvä kemia (taulukko 6.3). Näitä asioita käsiteltiin eniten lukion kurssien KE1 ja KE4 oppikirjoissa. Hyönteisten kemian esiintymisessä esiintyi vaihtelua eri oppikirjasarjojen välillä. Eniten mainintoja oli kirjasarjoissa A ja D.



## 6.2 Verkkomateriaali

Verkkomateriaalin laajuus rajattiin tarveanalyysin perusteella. Alustavan suunnitelman mukaan verkkomateriaalin piti sisältää teoriaa semiokemikaaleista, mehiläisistä, muurahaisista, perhosista ja pigmenteistä. Tarveanalyysin perusteella teoriaosio (luku 2) rajattiin yhteen esimerkkiin –mehiläisiin ja siihen syvällisesti.

Koska lukion opetussuunnitelmien perusteissa ei suoraan mainittu hyönteisten kemiaa (ks. luku 3), suunnattiin oppimateriaali ensisijaisesti lukion opettajille. Verkkomateriaalista pyrittiin tekemään laaja, jotta opettajat voisivat käyttää sitä monipuolisesti hyväksi kytkiessään opetustaan tarveanalyysin (ks. luku 6.1) esilletuomiin kemian aihealueisiin.

Verkkomateriaalista pyrittiin tekemään Jonassenin (1999) määrittelemien kriteerien (ks. luku 4.4.1) mukaisesti mahdollisimman mielekäs opiskeltavaksi verkkomateriaalin tavoitteet huomioon ottaen. Huomiota verkkomateriaalissa on erityisesti kiinnitetty sivuston sisältöön, ulkoasuun, rakenteeseen ja navigoimiseen. Käsitekarttojen, tekstisivujen ja kokeellisen osion myötä pyrittiin tekemään materiaalista mahdollisimman monikäyttöinen. Materiaali, joka sopisi sekä nopeaan kertaamiseen (käsitekartat), että aiheen syvempään opiskeluun (tekstisivut). Verkkomateriaalista pyrittiin tekemään visuaalisesti korkeatasoinen hyvien kuvien avulla.

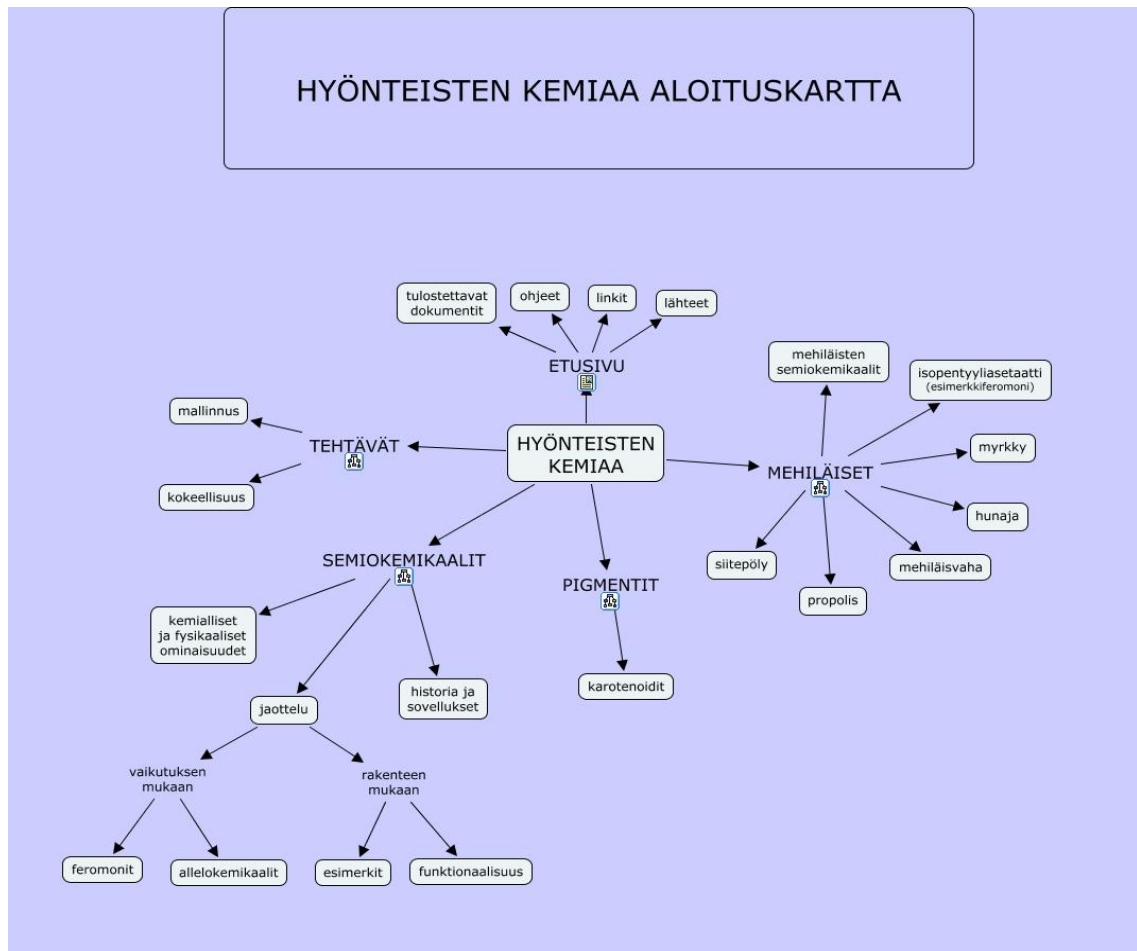
Ausubelin (1968) mielekkään oppimisen teorian mukaisesti materiaali pyrittiin rakentamaan niin, ettei se kannusta oppilasta opiskelemaan ulkoa vaan rakentamaan omaa tietorakennettaan mielekkäästi käyttäen kokonaisuuksien hahmottamisessa käsitekarttoja ja tiedon syventämisessä tekstisivuja. Mielekkään oppimisen teoria huomioitiin myös siten, että materiaali kytkettiin mielekkääseen kontekstiin. Gilbertin (2006) mukaan kontekstuaalisuus nostaa materiaalin mielekkyyttä.

### 6.2.1 Verkkomateriaalin toteutus

Verkkomateriaalin perusrakenne koostuu karttasivuista (ks. kuvat 6.1 ja 6.2), käsitekarttoista (ks. kuva 6.3) ja tekstisivuista (ks. kuva 6.4). Karttasivut ja käsitekartat tehtiin *Cmap Tools* -käsitekartta ohjelmalla, jolla voi tallentaa dokumentin suoraan .html -muotoon. Tekstisivut tehtiin *Dreamweaver* -ohjelmalla, joka on verkkosivujen tekoon tarkoitettu verkkotyökalu.

Kuvassa 6.1. esitetään materiaalin sisällysluettelo. Materiaali koostuu viidestä eri osiosta:

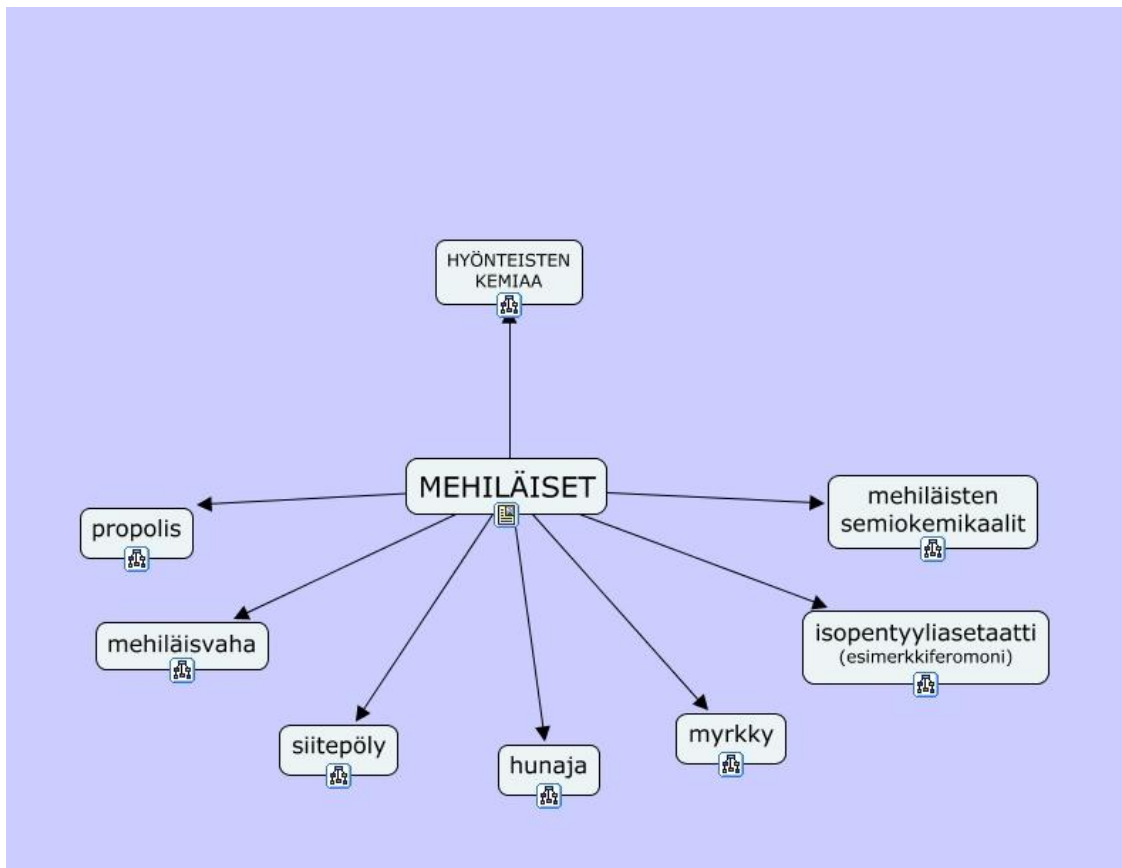
- a. Etusivu, jossa on sivuston käyttöohjeet, tervetuloivotus, tavoitteet, lähteet, linkit ja koko materiaali tulostettavina pdf-dokumentteina.
- b. Tehtävät, joka on verkkomateriaalin kokeellinen tehtäväosio. Tämä osio käydään tarkemmin läpi luvussa 6.2.2.
- c. Semiokemikaalit (ks. luku 2.1), joka sisältää semiokemikaalien historiaa ja sovelluskohteita sekä koko ryhmän tarkastelua rakenteellisten erojen perusteella.
- d. Pigmentit (ks. luku 2.2), joka keskittyy teorian puolesta pelkästään karotenoideihin. Pigmentit osiossa on karotenoidien isomeriaan liittyvä animaatio.
- e. Mehiläiset, jotka valittiin materiaalin esimerkki hyönteisiksi kemiallisen monimuotoisuutensa vuoksi. Mehiläiset osion teoria koostuu yleisempien mehiläistuotteiden ja mehiläisten semiokemikaalien kemiasta luvun 2.3 mukaisesti.



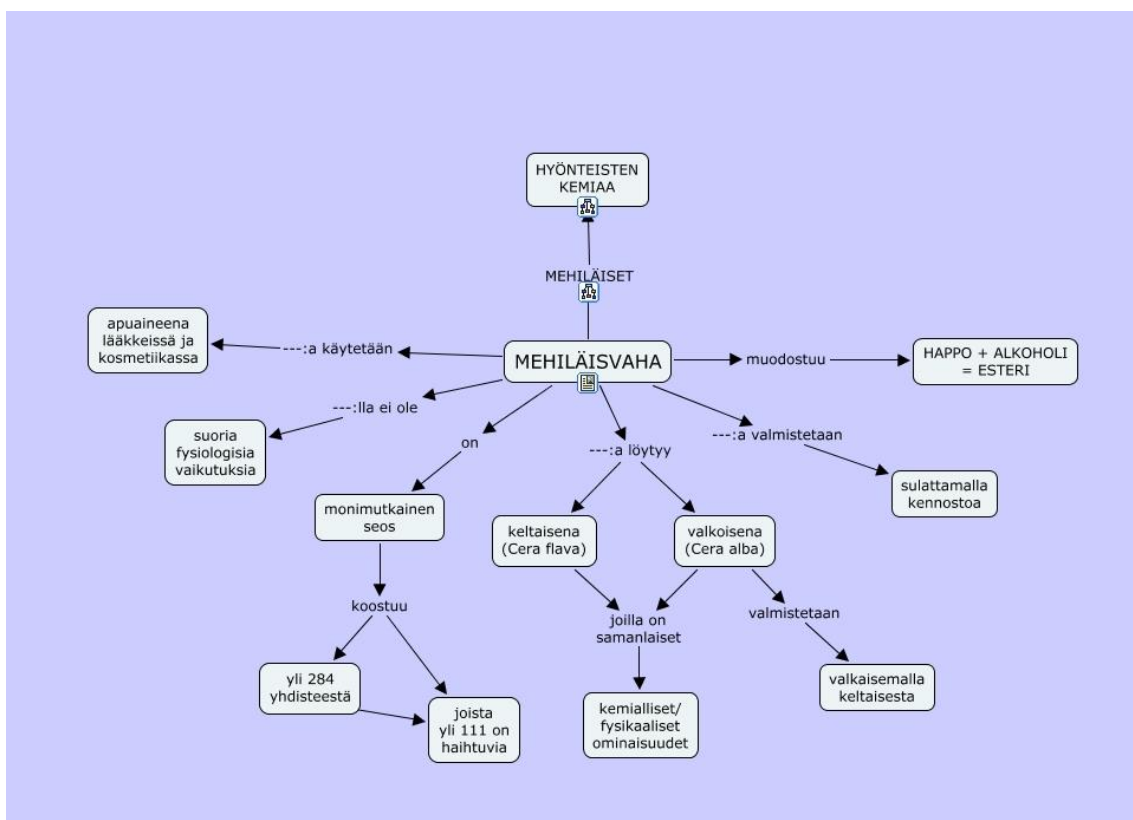
Kuva 6.1. Verkkomateriaalin karttasivu: sisällysluettelo.

Verkkomateriaalin yksi lähtökohta oli mielekäs käytettävyys (ks. luku 5.2.2). Tässä yhteydessä sillä tarkoitettiin selkeää rakennetta, tiedon tehokasta löytymistä ja navigoinnin mukavuutta. Asia pyrittiin ratkaisemaan käytännössä rakentamalla sivuston navigointijärjestelmä käsitekarttojen muotoon. Tutkimusten mukaan käsitekarttojen muotoon rakennetut verkkomateriaalit tehostavat oppimista ja helpottavat tiedon etsimistä (ks. luku 4.4.2) (Carnot ym., 2001).

Materiaalin navigointimahdollisuuksia rajoitettiin tietoisesti. Lukija ei pysty eksymään osioiden välillä, koska osiosta toiseen vaihtaminen tapahtuu aloituskartan (ks. kuva 6.1) kautta, jolloin lukija pysyy koko ajan kartalla. Kuvissa 6.1-6.4 on kuvattu navigointireitti sivuston aloituskartasta mehiläisvaha käsittelevälle tekstisivulle. Tiedon taso syvenee siirryttäessä lähemmäksi tekstisivua, jolloin lukija pystyy opiskelemaan sivustoa haluamallaan vaativuustasolla.



Kuva 6.2. Verkkomateriaalin karttasivu: mehiläiset.



Kuva 6.3. Verkkomateriaalin käsitekartta: mehiläisvaha.

[Takaisin käsitekartaan](#)

# MEHILÄISVAHA

[OMINAISUUDET JA KOOSTUMUS](#)

[SOVELLUKSET](#)

Vahat ovat pitkäketjuisten karboksyylihappojen ja pitkäketjuisten alkoholien muodostamia estereitä. Mehiläisvahan (kuva 1) hydrolyysissa muodostuu C 26 ja C 28 mittaisia suoraketjuisia karboksyylihappoja sekä C 30 ja C 32 mittaisia suoraketjuisia alkoholeja.

$$\text{C}_{25-27}\text{H}_{51-55}\text{COOC}_{30-32}\text{H}_{61-65}$$

Kuva 1. Mehiläisvahan rakennekaava.

Mehiläisvahaa on sekä keltaisena (Cera flava) että valkoisena (Cera alba). Keltainen mehiläisvaha valmistetaan sulattamalla mehiläiskennoja (kuva 2) kuumalla vedellä ja poistamalla sulasta vieraat materiaalit. Valkoista mehiläisvahaa valmistetaan valkaisemalla keltaista mehiläisvahaa kaliumpermanganaatilla, aktiivihiilellä tai auringossa.



Kuva 6.4 Verkkomateriaalin tekstisivu: mehiläisvaha.

## 6.2.2 Kokeellinen osio

Kokeellisten tehtävien tavoitteena oli tuoda monipuolisuutta mielekkääseen kemian opetukseen. Kokeellisen osion tehtävissä yhdistyvät laboratoriotyöskentely ja molekyylihallinnointi, kuten kemistien työssä (mm. ks. Aksela, 2005).

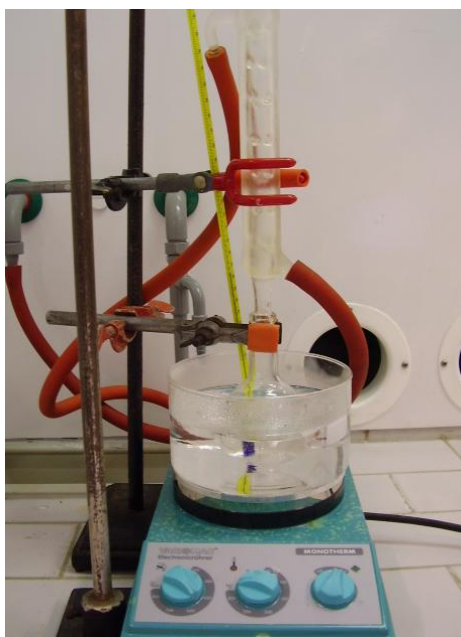
Kokeellisia tehtäviä on kaksi. Tehtävien kemiallista puolta ei käsitellä tässä kappaleessa, koska niiden kemia on käsitelty luvussa 2. Tehtävien aiheet valittiin luvun 2. teorian sisällöstä.

Ensimmäisen tehtävän (ks. luku 6.2.2.1) aiheeksi tuli hunajamehiläisen hälytysferomonin isopentyyliasetaatin (ks. luku 2.3.2) syntetisointi ja mallintaminen. Toinen tehtävä (ks. luku 6.2.2.2) käsittelee karotenoidien (ks. luku 2.2.1) eristämistä ja mallintamista. Molempien tehtävien mallinnusosat on tehty *Spartan 04 student* -versiolla.

### 6.2.2.1 Isopentyyliasetaatti, $C_7H_{14}O_2$

Isopentyyliasetaattitehtävässä yhdistyvät isopentyyliasetaatin kokeellinen valmistaminen sekä yhdisteen molekyykirakenteen ja synteesireaktion tietokoneavusteiseen mallintaminen. Tehtävän tavoitteena on tehostaa laboratoriotyönkentelyn mieleenpainumista tarkastelemalla mallinnuksen avulla synteesireaktion luonnetta sekä antamalla oppilaalle syntetisoidusta molekyylistä mielikuva. Tehtävän kehittämisessä käytetyt lähteet ovat liitteenä 4.

Tehtävä alkaa yhdisteen esittelyllä, sovelluksilla ja mahdollisilla valmistuskustannuksilla. Työn laboratorio-osuus jaetaan neljään eri vaiheeseen: a) refluksointi, b) uutto, c) tislauk ja d) punnitus sekä IR. Työ alkaa noin tunnin mittaisella refluksoinnilla (ks. kuva 6.5). Kyseessä on happokatalysoitu esteröintireaktio (ks. luku 2.3.2.2). Reaktio vaatii tapahtuakseen katalyytin ( $H_2SO_4$ ) ja korkean lämpötilan, joka saadaan aikaan refluksoinnilla. Refluksoinnin jälkeen uutetaan orgaaninen aine reaktioseoksesta, josta eristetään tislaamalla haluttu lopputuote. Isopentyyliasetaatin kiehumispiste on  $142\text{ }^{\circ}C$ , jolloin tislaaminen voidaan suorittaa normaalipaineessa öljyhauteessa. Lukioista yleensä ei löydy IR-spektrometriä, minkä johdosta tehtävämonisteeseen on liitetty yhdisteen IR-spektri. Koulut voivat myös vierailla korkeakoulujen tai yritysten laboratoriossa ajamassa IR-spektrin.



Kuva 6.5. Refluksointi.























































































#### **Liite 4: Isopentyyliasetaatti –tehtävän kehittämisessä käytetyt lähteet**

- Anon, 2007. <http://www.umsl.edu/~orglab/experiments/Bananaoil.html>, luettu 12.6.2007.
- FAO, 1997. Isoamyl acetate. FAO: Corporate document repository.

